

УДК 62-621.2

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЕСТРУБОПРОВОДНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ПОСЕЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПГ

**Е. В. Тюрин<sup>1</sup>, А. С. Колпаков<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> eugenetul@yandex.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ технологических возможностей беструбопроводной газификации поселений природным газом с использованием ресурсной базы малотоннажного производства сжиженного природного газа (СПГ) на газораспределительных станциях (ГРС) и регазификационных комплексах.

**Ключевые слова:** беструбопроводная газификация, природный газ, малотоннажное производство, СПГ, регазификационный комплекс

## TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF PIPELINE-FREE GASIFICATION OF SETTLEMENTS USING LNG

**E. V. Turin<sup>1</sup>, A. S. Kolpakov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Ural Federal University named after the First  
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> eugenetul@yandex.ru

**Abstract.** The analysis of technological possibilities of pipeline-free gasification of settlements with natural gas using the resource base of low-tonnage LNG production at GDS and regasification complexes is performed.

**Keywords:** pipeline-free gasification, natural gas, low-tonnage production, LNG, regasification complex

Перечнем поручений Президента РФ от 31 мая 2020 г. [1] по результатам проверки исполнения законодательства, направленного на развитие газоснабжения и газификации регионов, предусмотрено

внесение изменений в порядок формирования топливно-энергетических балансов с учетом потребности населения в сжиженном природном газе (СПГ). Это продиктовано тем, что при самой большой в мире протяженности магистральных газопроводов (175,2 тыс. км) и газораспределительных сетей (959,4 тыс. км) газифицировано только 70,1 % территории РФ. В определенном отношении ситуация связана с наблюдаемой ограниченностью ресурсной базы газоснабжения РФ, поскольку из 4045 газораспределительных станций (ГРС) 447 являются «запертыми», т. е. отсутствует возможность технологического присоединения к подключенным к ним сетям газораспределения.

Так, в Челябинской области в настоящее время из 105 ГРС на 16-ти производительность исчерпана, что затрудняет выход на целевой показатель региональной программы газификации жилищно-коммунального хозяйства, промышленных и иных организаций Челябинской области на 2017–2021 гг., в паспорте которой запланировано достижение уровня газификации населенных пунктов не менее 74,8 %.

Однако наличие резерва на других ГРС может служить ресурсной базой для газоснабжения удаленных потребителей в случае организации при ГРС малотоннажных производств СПГ на перепаде давления между магистральным трубопроводом и сетями газораспределения, когда производство холода с использованием детандеров осуществляется практически без внешних затрат энергии.

Отсутствие потребности в компримировании газа снижает капитальные затраты на КСПГ и сводит энергетические, следовательно, и эксплуатационные затраты комплексов этого типа к минимуму по сравнению с альтернативными схемами получения СПГ. Отсюда и методические подходы [2] к определению структуры ресурсной базы, предполагающие организацию малотоннажного производства преимущественно на ГРС магистральных газопроводов.

В настоящее время в России два комплекса малотоннажного производства СПГ на ГРС используют подобную (детандерную) технологию, и один из них с производительностью 5 т/ч расположен в Магнитогорске (Челябинская область) при ГРС-3, являющейся источником газоснабжения крупного потребителя с устойчивым графиком потребления — Магнитогорского металлургического комбината (ММК). Строительство комплексов производства СПГ и перевод котельных на регазифицированный СПГ являются составной частью программы газификации области.

Однако решение проблемы газификации удаленных потребителей выходит за рамки энергоэффективного малотоннажного производства СПГ [2], поскольку дополнительно ставит вопросы о создании как транспортной инфраструктуры (доставка СПГ автомобильным транспортом), так и комплексов регазификации СПГ на месте потребления (котельные, бытовой сектор). Существенен вопрос выбора энергоэффективного и надежного оборудования для регазификации, обеспечивающего требуемый расход газа в соответствии с графиком потребления.

В этом ряду ключевыми технологическими объектами, несомненно, являются атмосферные регазификаторы СПГ, использующие, в силу криогенных температур теплоносителя, теплоту окружающей среды.

Оптимизация затрат на атмосферные регазификаторы достигается использованием пакетов труб с продольным непрерывным оребрением. Наибольшую практическую ценность представляют конструкции оребрения, обеспечивающие максимум переноса теплоты при минимуме гидравлического сопротивления.

Максимальный результат достигается при использовании продольного разрезного оребрения, в частности Y-образного, представленного на рис. 1 [3].



Рис. 1. Атмосферный испаритель с Y-образным оребрением труб

Использование такого оребрения труб позволяет существенно улучшить габаритные и весовые показатели теплообменных устройств за счет увеличенного коэффициента оребрения. Небольшой рост гидравлического сопротивления по сравнению с прямыми ребрами при малых скоростях воздушного потока при естественной конвекции не оказывает в этом случае существенного влияния на теплогидравлическую эффективность регазификатора СПГ.

Производительность криогенных атмосферных испарителей зависит от характеристик поступающего сжиженного газа, требований к паровой фазе, эксплуатационных условий: температуры окружающего воздуха, относительной влажности, высоты, уровня солнечной радиации, а также близости к смежным конструкциям. В криогенной технике в силу влажности окружающего атмосферного воздуха имеет место инееобразование на рабочих поверхностях испарителей, в резервуарах и трубопроводах кратковременного действия, дренажных коммуникациях. Инееобразование сказывается на интенсивности теплообмена регазифицируемого СПГ с атмосферным воздухом, приводя по мере роста слоя инея к снижению производительности теплообменника.

Проектирование регазификаторов невозможно без знания и учета влияния характеристик инея на эффективность, габаритные и производственные показатели регазификационных установок.

Слой инея, образующийся в процессе эксплуатации на поверхности оребренных регазификаторов, во-первых, действует как тепловой изолятор, снижает интенсивность передачи теплоты через оребренную поверхность, а во-вторых, сужает живое сечение для прохода воздуха. Оба фактора обуславливают уменьшение производительности установки и необходимость периодической очистки поверхностей теплообмена. В результате имеет место простой теплообменного оборудования, а в некоторых случаях и дополнительные затраты энергии, что приводит к удорожанию вырабатываемого продукта.

С учетом актуальности вопроса оценки эффективности атмосферных регазификаторов проведен расчет испарителя СПГ с продольным типом оребрения в условиях инееобразования с использованием методики [4], результаты представлены в табличной форме (зависимость коэффициента теплопередачи  $k$  (Вт/(м<sup>2</sup>·К)) регазификатора от времени):

часы	0	1	2	3	4	5
$k$	3,727	3,360	3,076	2,954	2,888	2,852

Расчетные параметры: давление СПГ — 6 бар; температура СПГ на входе в регазификатор — 137 °С; температура воздуха — 30 °С.

Как следует из табличной формы, коэффициент теплопередачи  $k$  в процессе уменьшается, и пропорционально падает выход продукционного газа, т. е. криосадок существенным образом влияет на производительность атмосферных испарителей, которую при проектировании следует выбирать с запасом. В случае низкого влагосодержания, характерного для наиболее ответственного зимнего периода эксплуатации испарителей, следует учитывать разрушение слоя инея до плотной основы изморози с периодичностью 2 ч при поверхности осыпания до 90 % полезной площади тепло- и массообмена [4].

Представляется, что существующая методика [4] требует уточнения в целях использования во всем возможном диапазоне эксплуатационных параметров. Верификация методики может быть выполнена, например, с использованием программного комплекса Ansys.

#### Список источников

1. Перечень поручений Президента РФ по результатам проверки исполнения законодательства, направленного на развитие газоснабжения и газификации регионов (31 мая 2020 года) [Электронный ресурс] // Президент России. Москва. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/63454> (дата обращения: 27.11.2020).
2. Методические подходы к формированию программ малотоннажного производства и использования сжиженного природного газа / С. П. Горбачёв [и др.] // Вести газовой науки. 2017. № 1 (29). С. 227–240.
3. Испарители [Электронный ресурс] // Компания «ДИОКСИД». URL: <https://dioksid.ru/ispariteli/> (дата обращения: 27.11.2020).
4. Маринюк Б. Т., Королев И. А. Особенности формирования и динамики роста инея на теплообменных поверхностях криогенного оборудования // Холодильная техника. 2017. № 11. С. 38–41.